

# 파라메트릭 송파 방식을 이용한 기중 지향성 음원의 개발

문병천\* 김무준\*\* 하강열\*\* 김천덕\*\*\*

\* 부경대학교 대학원 음향진동공학과

\*\* 부경대학교 물리학과

\*\*\* 부경대학교 전기·제어계측공학부

## Development of Directional Sound Source in Air by Using Parametric Array.

Byung-Cheon Moon\* Moo-Joon Kim\*\* Kang-Lyeol Ha\*\* Chun-Duck Kim\*\*\*

\* Dept. of Acoustic and Vibration Eng. Pukyong National Univ.

\*\* Dept. of Physics Pukyong National Univ.

\*\*\* Faculty of Electrical and Control Eng. Pukyong National Univ.

\* mydus11@hanmail.net

### Abstract

음파의 비선형 현상을 통해 수행되는 파라메트릭 송파 방식을 공기 중에서의 음향 변환기에 적용시키기 위해 비교적 공진 주파수가 낮은 기중 초음파 발생 소자들을 배열시켜 기중 지향성 음원을 제작하였다.

이 송파기를 이용하여 비선형 왜곡이 발생함을 알아보기 위하여 2 kHz의 차주파수를 갖도록 37.12 kHz와 39.12 kHz의 메인 주파수 음파를 신호발생기로부터 인가하고 이를 방사한 후 마이크로폰을 통해 수신하였다.

공기 중에서의 파라메트릭 효과의 확인을 통하여 파라메트릭 송파기에서 방사되는 메인 주파수 음파와 전파 경로 중에서 생성되는 차주파수 음파의 거동을 고찰하고, 실험 결과로부터 기중 파라메트릭 송파기 개발의 가능성을 검토하여 보았다.

지향성이 좋으며 사이드로브가 없다는 중요한 특성을 갖는 파라메트릭 어레이는 Westervelt의 이론적 해석 이후로 많이 연구되어지고 있다.<sup>1-6)</sup> 이러한 파라메트릭 어레이의 응용 가운데 수중에서의 응용에 관한 연구는 현재까지 많이 되어져 있으며, 수중 해저 매설물 탐사나 심해의 측심, 수중 통신 등에 이용되어 왔다.<sup>7)</sup>

그러나 기중에서의 파라메트릭 어레이<sup>8-11)</sup>에 대한 응용 연구는 현재까지도 거의 되어있지 않다.

최근 오디오 산업의 발달로 인하여 공기 중에서 지향성을 갖는 음원의 개발이 요구되어지고 있는데, 특히 한 공간에서 방향을 달리하여 여러 가지 채널을 볼 수 있도록 개발된 다방향 멀티비전 등과 같은 응용 분야에 있어서 지향성 음원의 개발이 많이 요구되고 있다.

본 연구에서는 기중 파라메트릭 송파기 개발을 위해 초음파 트랜스듀서를 이용한 기중 파라메트릭 어레이를 제작하고 그 특성을 실험적으로 검토하였다.

### 1. 서 론

## 2. 원 리

유한 진폭 음파의 빔 내에서 매질의 비선형 상호작용에 의해 가상음원이 매질 가운데서 발생하게 되고, 이렇게 발생하는 이차적인 음원으로부터 방사된 음파는 전파 방향에 대하여 근거리 영역에서 모두 동위상으로 가산되어 증가하면서 종형 어레이를 형성한다.

이러한 파라메트릭 어레이의 구현은 트랜스듀서에 두 개의 메인 주파수를 인가한 후 방사하면 매질에 전파해가면서 메인 주파수가 겹쳐지는 영역에서 메인 주파수의 차의 주파수와 합의 주파수가 발생하게 되는데 파라메트릭 어레이는 차주파수의 음파에 주목한다.

이렇게 형성된 차주파수의 음파는 저주파임에도 불구하고 메인 주파수에 의한 음파와 거의 같은 정도의 예리한 지향성을 갖게 된다.

본 연구에서는 파라메트릭 송파기로서 21개의 트랜스듀서를 평면 어레이시켜 제작한 후 이에 2kHz의 차주파수가 생성되도록 메인주파수 37.12kHz와 39.12kHz의 신호를 인가하였는데, 그 형태는 그림 1과 같다.

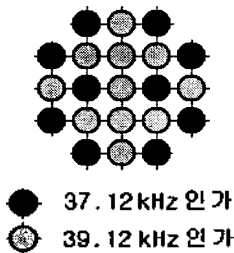


그림 1. 제작된 음원의 결선과 배열 형태

## 3. 트랜스듀서의 제작

실험을 위해 제작된 트랜스듀서는 공진 주파수가 38.4 kHz인 소자 21개를 이용하여 이들을 PE판에 평면 어레이시켜 제작하였다. 그림 2에는 개별 트랜스듀서 소자의 외관을 나타내었다. 사용된 소자의 제원은 표 1과 같으며 소자들에 대한 주파수 특성을 알기 위해 전기단에서 본 입력 어드미턴스를 측정하여 결과를 그림 3에 나타내었다.

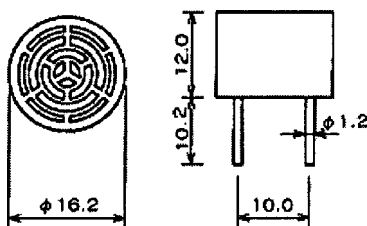


그림 2 사용된 단일 트랜스듀서 외관

표 1 단일 트랜스듀서 제원

모델명	C40-16PU
Center Frequency (kHz)	38.4
-6dB Directivity (deg)	55
Size (mm)	φ 16
Material	Plastic

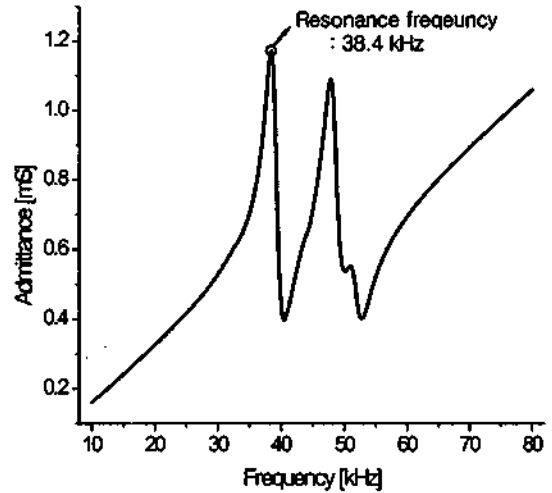


그림 3 단일 트랜스듀서 주파수 특성

파라메트릭 어레이를 구현하기 위해 그림 4와 같이 평면 어레이 시켰으며, 그림 5는 그림 4에 나타난 트랜스듀서 어레이의 주파수 특성을 측정하여, 공진 주파수는 38.35 kHz임을 알 수 있었다.

소자의 결선에 있어서는 그림 1의 배열 형태처럼 대칭이 되도록 하여 21개의 소자 가운데 10개와 11개로 구분한 후 이에 메인 주파수를 각각 인가하였다.

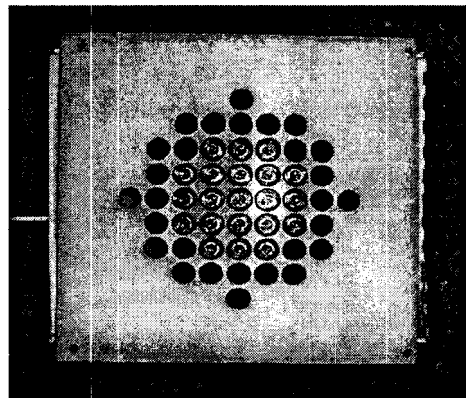


그림 4 제작된 트랜스듀서 어레이의 외관

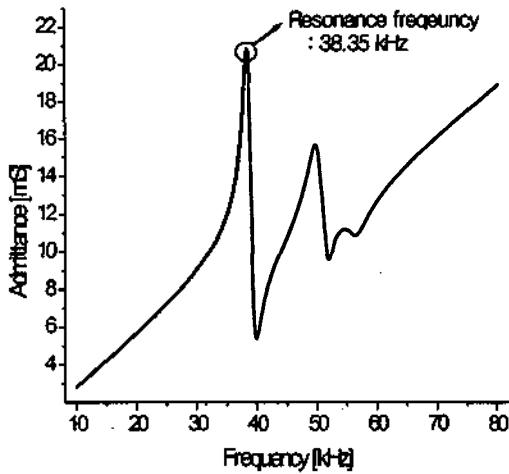


그림 5 베열된 트랜스듀서의 주파수 특성

### 3. 음향 방사 특성의 측정 및 결과

제작된 트랜스듀서 어레이를 음원으로 하여 공기 중에서 그 특성을 조사하였다.

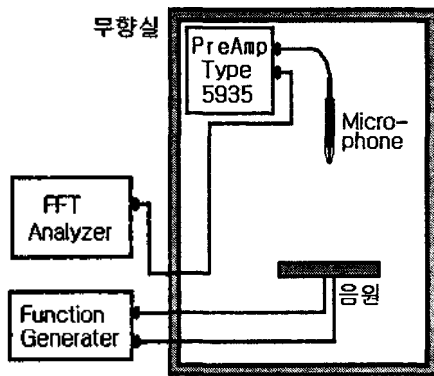


그림 6 실험 개략도.

그림 6과 같은 실험 환경에서 파라메트릭 어레이에 의해 발생되는 차주파수 음파를 수신하여 분석하였다.

실험은 무향실에서 행하여 졌으며 제작된 트랜스듀서와 마이크로폰 그리고 마이크로폰용 프리앰프를 제외한 모든 장치는 무향실 밖에 위치시켜 외부의 영향을 제거하였다.

Function Generator ( HP8904A )로부터 음원의 공진 주파수인 38.35 kHz 부근에서 차주파수 2 kHz가 되도록 각각 37.12 kHz와 39.12 kHz의 정현파 신호를 20 Vpp로 인가하여 트랜스듀서를 구동시키고 수신용으로 Condenser Microphone ( B&K Type 4135 )를 사용하여 차주파수 및 메인 주파수 신호를 수신하였으며 수신된 음파의 주파수 성분을 FFT Analyzer로 분석하였다.

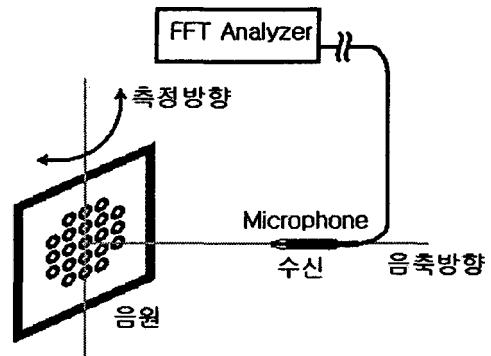


그림 7 지향 특성 측정

파라메트릭 어레이의 지향 특성을 측정하기 위하여 그림 7에 나타난 것과 같이 음원으로부터 음속상 1.2m 떨어진 지점에서 측정을 행하였는데, 여기서 1.2m는 메인 주파수에 대한 레이리 거리가 0.46m 이므로 충분한 원거리 지점으로 선택하였다. 측정 각도는 음속을 중심으로 수평방향의 80° 영역( -40° - +40° )을 대상으로 측정하였다. 측정된 결과를 그림 8과 그림 9에 나타내었다.

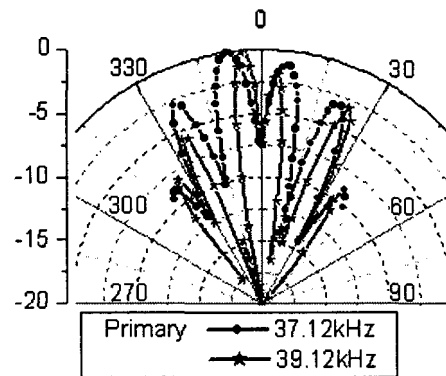


그림 8 측정된 메인 주파수 음파의 지향 특성

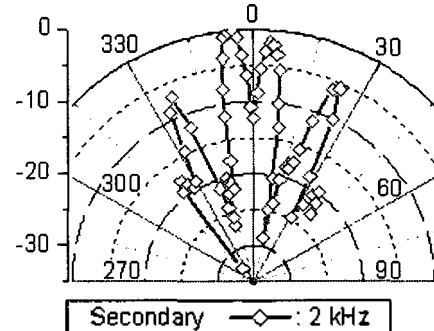


그림 9 측정된 차주파수 음파의 지향 특성

그림 8의 결과에 나타난 것처럼 메인 주파수에 대한 빔 패턴이 일치하지 않는다는 것을 알 수 있는데, 이는 개별 소자들에 있어서 그 특성이 완전히 일치하지 않고, 그림 1에 나타난 것과 같이 인가된 메인 주파수에 대한 음원의 배열이 동일하지 않으며, 배열된 소자들에 있어서 인가해 준 메인 주파수에 대한 구동 효율이 일치하지 않음으로 해서 나타난 결과라고 생각된다.

또한 메인 주파수에 대하여 가장 큰 음압 레벨이 나타나는 각도는 37.12 kHz의 주파수에서는  $-8^\circ$  였고, 39.12 kHz의 주파수에서는  $-4^\circ$  였으며, 이들에 대하여 3dB 빔 폭은 각각 약  $8^\circ$  와  $6^\circ$  로 나타났다.

또한 앞의 원리에서 언급되었듯이 두 메인 주파수로 구동되는 음파의 빔이 겹쳐지는 영역에서 차주파수 음파의 빔이 나타날 것이라는 것을 알 수 있는데, 그림 9의 결과를 보면 두 개의 메인 주파수 음파가 겹쳐지는 부분을 따라서 차주파수 음파가 강하게 나타남을 알 수 있었다. 측정된 차주파수 음파의 가장 큰 음압 레벨은  $-5^\circ$  에서 나타났고, 3dB 빔 폭은 약  $5^\circ$  로 나타났다. 이로부터 차주파수 음파의 지향성이 메인 주파수의 지향 특성에 의존함을 알 수 있고, 또한, 그림 9로부터 차주파수 음파의 지향성은 메인 주파수 음파의 메인 로브가 서로 교차하는 영역에서 가장 크게 나타남을 알 수 있었으며, 사이드 로브에서는 메인 주파수 음파보다 그 음압 레벨이 큰 폭으로 감소함을 알 수 있었다.

또한, 위의 결과로부터 메인 주파수 음파의 메인 로브 빔의 교차 각을 조절함으로써 차주파수 음파 빔의 지향성을 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기중 파라메트릭 송파기를 제작하기 위한 연구로써 파라메트릭 어레이를 위한 송파기를 제작하고 제작된 송파기로부터 음파를 발생시켜 차주파수 음파가 나타남을 확인하였다.

제작된 음원에 실험을 통해 차주파수가 2 kHz가 되도록 메인 주파수를 인가한 후 그 지향 특성을 조사한 결과, 전파 중에 생성된 차주파수 음파는 메인 주파수의 메인 로브가 겹쳐지는 영역에 의존함을 알 수 있었다.

또한 측정된 결과 차주파수 음파의 3dB 빔 폭은 약  $5^\circ$  로 매우 예리한 지향성을 나타냄을 알 수 있었고, 메인 주파수의 사이드 로브 레벨에 비해 매우 낮은 사이드 로브 레벨을 갖는다는 것을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- 1) P. J. Westervelt : "Parametric Acoustic Array", J. Acoust. Soc. Am, 35(4), pp. 535-537, 1963.
- 2) T. G. Muir and J. G. Willette : "Parametric Acoustic Transmitting Arrays", J. Acoust. Soc. Am., 52(5), pp. 1481-1486, 1972.
- 3) M. B. Moffett, P. J. Westervelt and R. T. Beyer : "Large Amplitude Pulse Propagation-A Transient Effect", J. Acoust. Soc. Am., 47(5), pp. 1473-1447, 1970.
- 4) Richard L. Rolleigh : "Difference Frequency Pressure within the Interaction Region of a Parametric Array", J. Acoust. Soc. Am., 58(5), pp. 964-971, 1975.
- 5) H. O. Berktaay and D. J. Leahy : "Farfield Performance of Parametric Transmitters", J. Acoust. Soc. Am., 55(3), pp. 539-546, 1974.
- 6) 鎌倉友男 : "Fundamentals of Nonlinear Acoustics", 愛智出版, 東京, 1996.
- 7) H. O. Berktaay : "Possible Exploitation of Nonlinear Acoustics in Underwater Transmitting Applications", J. Sound Vib., 2, pp. 435-461, 1965.
- 8) M. B. Bennett and D. T. Blackstock : "Parametric Array in Air", J. Acoust. Soc. Am., 57(3), pp. 562-568, 1975.
- 9) Masahide Yoneyama, Yukawano, Jun'ichiroh Fujimoto, Shoichi Sasabe : "Application of Nonlinear Parametric Interaction to Loudspeaker", 電子情報通信學會技術研究報告, EA81-65, pp. 41-48, 1981.
- 10) A. I. Kalachev and D. B. Ostrovskii : "Experimental Study of the Near Field of a Parametric Sound Radiator", Sov. Phys. Acoust., 29(3), pp. 241-242, 1983.
- 11) Mark B. Moffett and Robert H. Mellen : "On Parametric Source Aperture Factors", J. Acoust. Soc. Am., 60(3), pp. 581-583, 1976.